



TITLE:

# GFRP部材の構造特性評価及び GFRP橋梁の合理化設計への適用( Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

林, 厳

---

CITATION:

林, 厳. GFRP部材の構造特性評価及びGFRP橋梁の合理化設計への適用.  
京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22050>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-09-24に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	林 巖
論文題目	GFRP 部材の構造特性評価及び GFRP 橋梁の合理化設計への適用		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、FRP 材料の土木構造物への適用範囲を広げるための課題である「FRP 部材の性能評価」、「FRP 橋梁の合理的設計」に関する基礎データベースの構築を目指して、FRP 材料の機械的性質ならびに FRP 部材の構造性能の変動特性を明らかにし、FRP 橋梁の更なる普及を実現しようとするものであって、8 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究の背景と目的について述べ、新建設材料としての FRP 材料の社会基盤施設への適用の現状を踏まえて、高耐久で軽量の FRP 材料を用いた合理化歩道橋の開発動向ならびに信頼ある構造設計を進めるうえでの構造性能評価法の役割を取りまとめている。</p> <p>第 2 章では、GFRP 歩道橋で多用される GFRP 部材の材料特性の変動特性について、引抜成形ならびにハンドレイアップ成形により製作された GFRP 部材から切り出したクーポン試験片の引張・圧縮試験を行い、各種機械的性質の統計評価を行っている。いずれの成形法でも機械的性質は部材全体で空間的にばらついており、引抜成形材の機械的性質のばらつきは少ないが、ハンドレイアップ成形材のそれはばらつきが大きいことを示している。これらの結果を踏まえて、設計時に用いる GFRP 材料の材料係数は、引抜成形材においては、現行の設計指針に定められる規定値（1.15～1.3）と同程度ある一方で、ハンドレイアップ成形材は、設計指針の規定値より大きな 1.4～1.7 程度が必要であることを示している。</p> <p>第 3 章では、モンテカルロシミュレーションを用いて、GFRP 部材の部材性能について統計的な検証を行っている。具体的には、2 章で得られたクーポン試験結果に基づく機械的性質の統計的諸量を用いて、施工性・組立性に優れた溝形断面部材の引張・圧縮性能ならびに I 型断面部材の曲げ性能について、部材剛性・部材強度の変動特性を明らかにしている。引張・圧縮ならびに曲げの断面力に対する荷重・変形挙動のシミュレーション結果により、部材強度は材料試験に基づくそれよりも低く評価されるが、部材剛性については、材料試験に基づく結果と同程度であることを示している。また、曲げ応答特性により得られる曲げ弾性係数は、引張／圧縮における縦弾性係数と相関性があるものの、それらの結果よりも低く評価されることを示している。</p> <p>第 4 章では、構造的に簡易である GFRP 歩道桁橋の静的・動的応答特性評価について、実大橋梁を用いた検討を行っている。まず、工場内で組み立てを完了した実橋梁に対して、設計活荷重下のたわみ測定および歩行・衝撃加振時の振動測定を実施し、現地設置後の橋梁においても、加振実験により実橋梁の動的応答を評価している。さらには、FE 構造解析モデルを構築し、対象橋梁の静的・動的応答について比較検討している。実大橋梁では、防護柵の影響もあり、実測たわみは設計値を下回るものの設計基準の制限値を満足しており、同定した振動特性も設計値を再現していることを確認している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	林 巖
<p>第5章では、長支間 FRP 歩道橋としては一般的なトラス構造形式の実大歩道橋の振動応答特性および振動使用性について評価している。既設 GFRP 歩道トラス橋に対して、現地加振実験を実施し、加振実験から得られた加速度データを用いて振動特性評価を行っている。また、四季における振動特性の変動を明らかにするため、気温の異なる時期に複数回の加振実験を実施し、同定した振動特性の変動性、橋梁の使用性について検討を行った結果、水平振動モード（1次・2次）、鉛直振動モード（1次・2次）、ねじれモードが卓越することを示すとともに四季の気温変化により鉛直振動性状が大きく影響され、水平振動性はそれほどでないことを示している。一方、振動使用性の照査として、歩道橋設計基準で規定される振動限度を検証し、対象とした GFRP 歩道橋において振動使用性は問題がないことを確認している。</p> <p>第6章では、GFRP 歩道トラス橋に対して、FE 構造解析モデルの構築法および動的応答解析に関して検討している。本 GFRP 歩道橋においては、GFRP 部材間の接合部において連結板としてステンレス鋼が補強材として用いられており、部材断面・接合部としての合成効果、橋梁総重量に占める鋼材重量の大きな割合が、歩道トラス橋の振動特性に影響を及ぼすことを示している。また、実橋梁における支承部の応答性状は、可動・固定といった理想的な境界条件を適用できないため、FE 構造解析モデルでは、水平方向に仮想的な弾性ばねを設置し、その不確定性をモデル化することで、振動実験結果に近い構造特性を再現する FE 構造解析モデルの構築ができることを示している。</p> <p>第7章では、GFRP 歩道トラス橋の FE 構造解析モデルの精度改善方法について検討している。ここでは、振動計測における観測情報と数値シミュレーションを組み合わせ、FE 構造解析モデルの再現性を高めるデータ同化手法の適用性を検証している。Cross-Entropy（CE）法を用いて、同定された振動特性を再現可能な FE 構造解析モデルの構築を試みた結果、橋梁の振動特性から部材の材料物性値を同定し、同定結果を再現する FE 構造解析モデルの精度向上に貢献できることを示すと同時に、モデルアップデート前の初期剛性によって同定される材料物性値・収束性が影響されるため、初期モデリングの重要性について示している。</p> <p>第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、GFRP 材の機械的性質ならびに GFRP 部材の構造性能の変動特性に基づく GFRP 歩道橋の合理化設計を明らかにしたうえで、FRP 部材および FRP 橋梁の普及・活用の将来展望について取りまとめている。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、FRP 材料の土木構造物への適用範囲を広げるための課題である「FRP 部材の性能評価」、「FRP 橋梁の合理的設計」の基礎データベース構築を目指して、FRP 材の機械的性質ならびに FRP 部材の構造性能の変動特性を明らかにし、FRP 橋梁の更なる普及を実現しようとするものであって、8 章からなっている。

第 1 章では、序論であり、研究の背景と目的について述べ、新建設材料としての FRP 材料の社会基盤施設への適用の現状を踏まえて、高耐久・軽量な FRP 材料を用いた合理化歩道橋の開発動向ならびに信頼ある構造設計を進める上での構造解析の役割を示している。第 2 章では、引抜成形ならびにハンドレイアップ成形により製作された GFRP 部材から切り出したクーポン試験片の引張・圧縮試験を行い、各種機械的性質の統計評価を行い、GFRP 材の設計用材料係数が、引抜成形材においては、現規定値 (1.15~1.3) と同程度、一方で、ハンドレイアップ成形材では、現規定値より大きい 1.4~1.7 程度が必要であることを示している。第 3 章では、モンテカルロシミュレーションを用いて、GFRP 部材の部材性能について検討を行い、部材強度は材料試験結果に基づくそれよりも低く評価されるが、断面性能から算定される弾性係数については、材料試験結果と同程度であることを示している。第 4 章では、実大の GFRP 歩道桁橋を用いた設計活荷重下におけるたわみ測定および歩行加振による振動測定の室内実験を実施し、現地設置後の加振実験による動的応答も評価している。FE 構造解析モデルを構築し、その応答について比較している。実橋梁では、防護柵の影響もあり、実測たわみは設計値を下回るものの基準が規定する制限値の範囲内で、同定した振動特性も設計値を再現していることを確認している。第 5 章では、GFRP 歩道トラス橋の振動特性および振動使用性について評価している。気温の異なる四季ごとの複数回の加振実験を実施し、水平振動モード (1 次・2 次)、鉛直振動モード (1 次・2 次)、ねじれモードが卓越することを示すとともに四季の気温変化により鉛直振動性状が大きく影響されるが、水平振動性はそれほどでないことを示している。第 6 章では、GFRP 歩道トラス橋に対して、GFRP 部材間のステンレス連結板を用いた接合構造、支持構造のモデル化を検証するために FE 構造解析モデルの構築法および動的応答解析に関して検討し、第 7 章では、Cross-Entropy (CE) 法を用いたデータ同化手法により実振動計測結果に基づいて FE 構造解析モデルの精度改善を試みている。第 8 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、GFRP 材の機械的性質ならびに GFRP 部材の構造性能の変動特性に基づく GFRP 歩道橋の合理化設計を検討し、FRP 部材および FRP 橋梁の普及・活用の将来展望について述べている。

以上、本論文は、GFRP 部材の構造特性を示すとともに、GFRP 歩道橋の合理化設計に貢献することにより、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和元年 8 月 19 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。